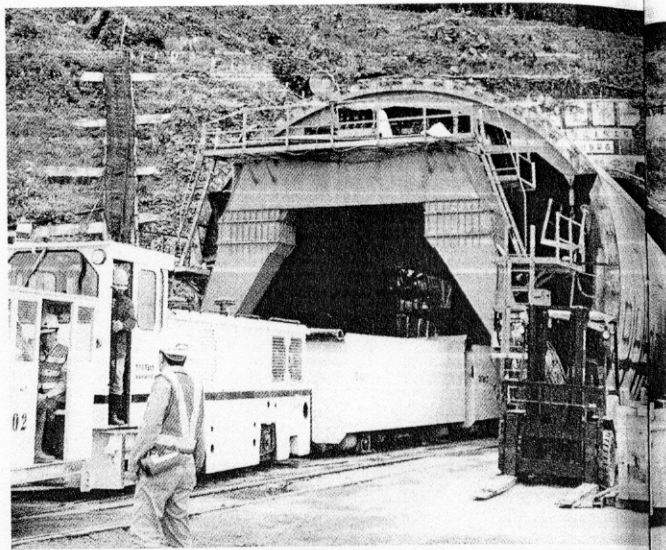


圖一 北宜高速公路示意圖



開鑿雪山隧道 挑戰

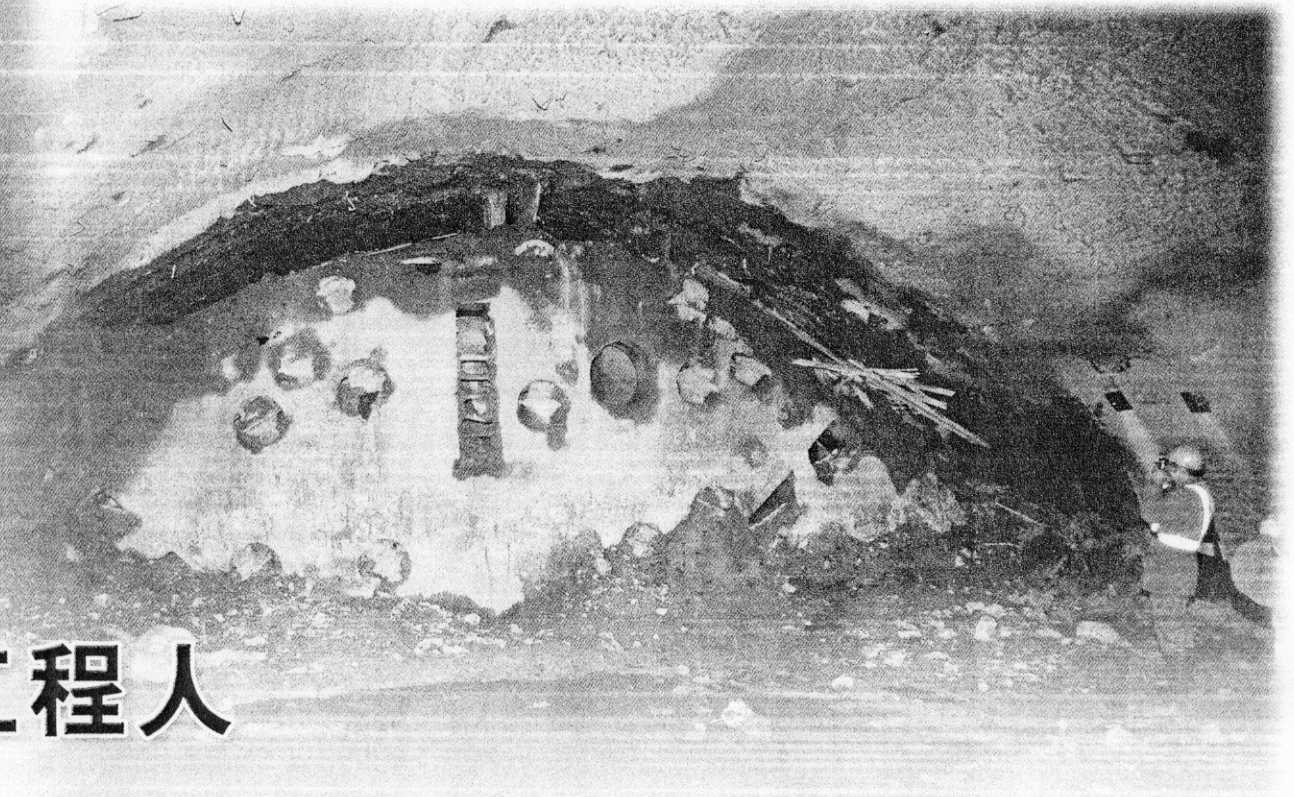
最近北宜高速公路雪山隧道工程再度成為焦點議題，據筆者記憶所及，本工程早在民國58年就有民間人士提出私人出資興建的意願，惟基於當年國防安全的因素而未能實施，直至民國77年交通部運研所委託美國帝力凱撒公司(Deleuw Cather International Limited)、奧地利吉奧工程顧問公司及國內之中華顧問工程公司完成可行性研究確認其可

行性後，才由交通部於78年7月成立「南港宜蘭快速公路工程籌備處」專責推動此一計畫，79年元月5日「南港宜蘭快速公路工程籌備處」與「高速公路局北二高工程處」合併成立「交通部台灣區國道新建工程局」繼續推動此一重大建設。

貫通北宜 縮減行車時間

雪山隧道全長12.9公里，

為北宜高速公路穿越雪山山脈連結台北與宜蘭的長隧道，而目前連絡台北至宜蘭間的交通主要經由台9線(俗稱北宜公路)和台2線(俗稱濱海公路)，行車時間約需2~2.5小時，北宜高速公路全長約31公里(圖一)，屆通車時台北與宜蘭間的行車時間可以大幅縮減到半小時左右，因此將會大幅改變台北與宜蘭兩地的互動關係，這是宜蘭鄉親長久引頸企盼的



工程人

· 朱寶基 ·

國道新建工程局副總工程司

· 雪山隧道因地處剪裂帶，湧水與地質問題每每困擾著工程之進行，並衍生多次災變。（本刊資料照片）

美夢將可成真，而此一事件的關鍵則在於全世界眾人矚目的亞洲第一長公路隧道—雪山隧道工程的完成。

由於規劃設計之初，就瞭解雪山隧道位於受到太平洋與歐亞板塊衝擊的嚴重褶皺及斷

層地帶，隧道沿線地質變化相當複雜，其最大岩覆高度超過700公尺，在無法以地表地質調查及有限鑽孔資料完全掌握地質的狀況下，因此採用二條主隧道及一條導坑的設計，由導坑先行開挖，以探查隧道全

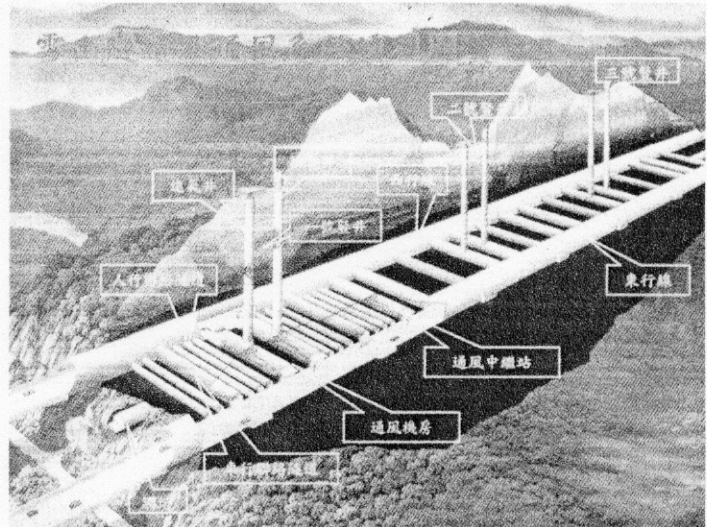
線地質，且可針對特殊惡劣地質區段進行必要的地盤改良處理，導坑與主坑間每隔350公尺有一條人行聯絡道，每隔1,400公尺有一條車行聯絡道，導坑同時可以作為施工期間通風、排水、運輸與完工營

運時期的服務、維修與緊急狀況之用（圖二）。

主坑導坑 開挖已逾五成

雪山隧道原先規劃都是自東口頭城段以鑽炸法向西開挖約1公里後，再以隧道鑽掘機（以下簡稱TBM）接續往坪林方向開挖與西口坪林段鑽炸法會合貫通，導坑在民國80年7月先行開工，主坑於民國82年7月加入施工行列。截至91年2月底進度如下表一。

由表一顯示目前隧道主坑與導坑皆已完成百分之五十以上的開挖工作，但與原計畫導坑於84年、主坑於88年貫通之時間比較，進度確實已經大幅度落後，雖然前有六次專家諮



圖二 雪山隧道配置示意圖

詢顧問會議，並於第六次會議曾提出具體改善方案，且通車時間也經正式核定延長至92年

6月，但是截至目前為止，工程進度仍然乏善可陳，不禁令人對這個工程產生許多的質疑與不解，究竟是什麼原因造成如此棘手的困境？

地質因素作祟 進度落後

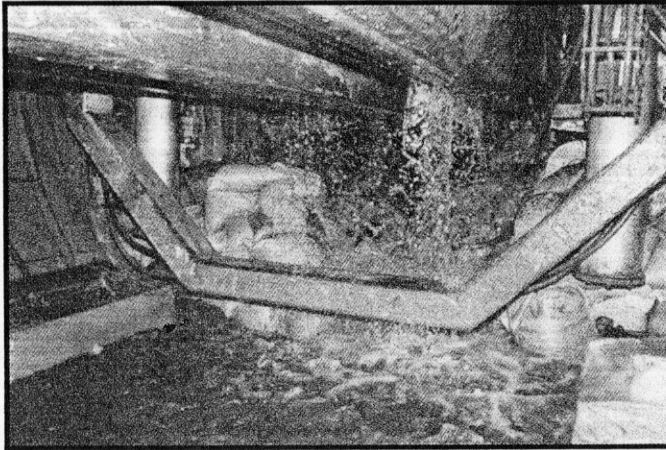
為了徹底瞭解問題的癥結，尋求可行的突破解決方案，行政院指示主辦機關交通部國道新建工程局再度召開專家諮詢顧問會議，為雪山隧道把脈診斷，會議於90年12月20~25日召開，諮詢顧問皆邀請國內隧道專家學者，會前除了提供完整施工與調查資料外，業主、監造顧問及施工廠商主要工作人員亦參與會議之討論，結果發現雪山隧道抽坍災

表一 雪山隧道工程進度

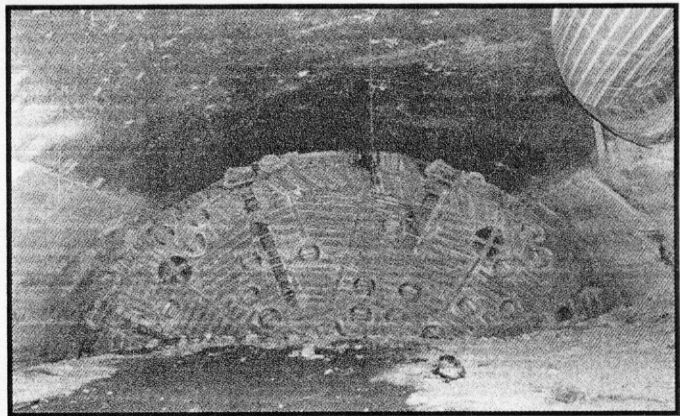
		完成長度 (公尺)		合計 (公尺)	完成百分比 (%)
		東口	西口		
導坑		3,614.1	3,672.9	7,287.0	56.32
主坑	東行線	3,269.3	3,145.5	6,414.8	49.71
	西行線	3,140.2	3,031.8		
#2 豎井	西行線	396.2 (往頭城)	519.8 (往坪林)	7,088.0	54.82
#1 豎井	進氣井			0	0
	排氣井			0	0
#2 豎井	進氣井			237.9	100
	排氣井			248.7	100
#3 豎井	進氣井			243.1	55.48
	排氣井			458.9	100

* 導坑 12,938.9公尺

* 主坑 東行線 12,905.1公尺 西行線 12,930公尺



• TBM 遭遇惡劣地質之湧水與淹埋。



變的主要原因仍是因為「地質因素」所造成，而此地質因素包括了地質破碎、剪裂帶或斷層等因素以及湧水因素（如照片），上述兩種因素給雪山隧道帶來了國際間前所未見的工程困擾，尤其在隧道內採用世界上最為特殊、新穎的 TBM 工法，卻遭遇如此重大的挫折。

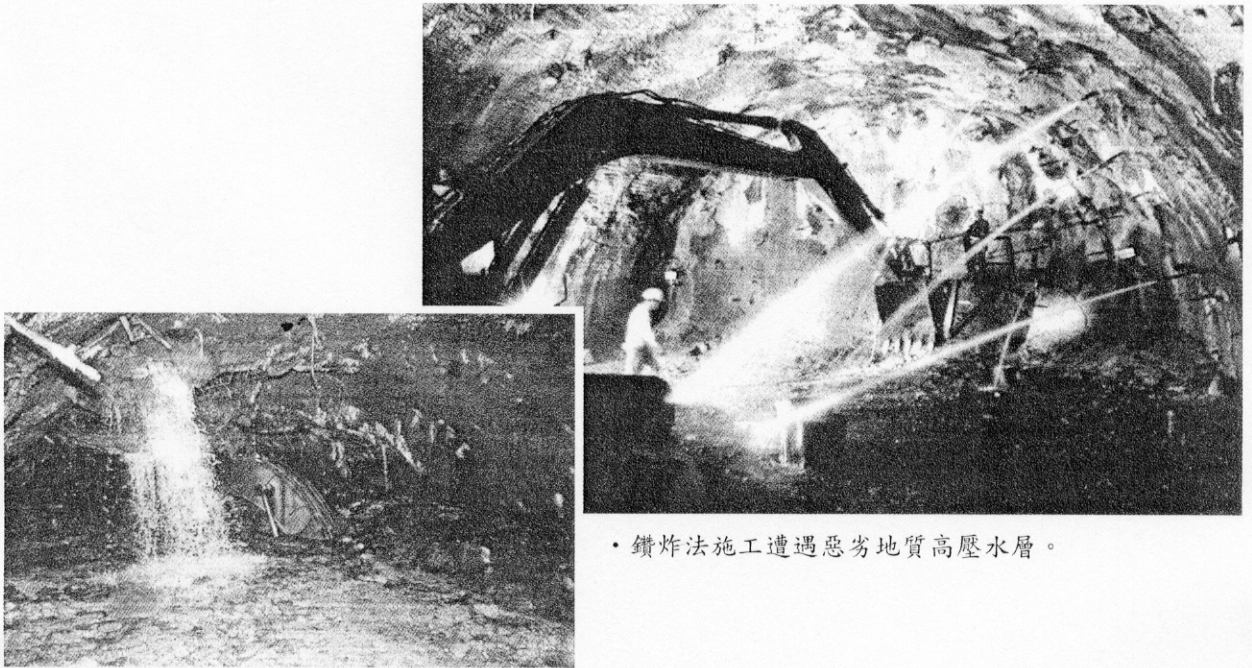
岩質堅硬 東口災變頻繁

由過去災變的統計資料中可以發現，TBM 共發生 24 次抽坍事件，而鑽炸工法則發生 37 次抽坍事件（其中 35 次在東口段），而探究前述 61 次災變中僅 2 次發生於西口段，其餘均在東口段發生，主要是因為隧道東口段約有四分之一的長度

屬於四稜砂岩層，根據過去的經驗，這種砂岩石英含量高，部分砂岩石英含量甚至超過 90%，岩質堅硬質脆，曾測得其最高單壓強度達約 3,000 公斤/平方公分，受造山運動之擠壓及斷層作用時，岩體極易破碎，形成密集分佈的剪裂帶，岩盤節理發達，經常出現三組或四組，其間距平均在數公分至十數公分間，且裂隙張

口目測可達一至數分釐，因此岩盤蓄水能力強，且透水性極高，豐富的地下水蘊藏於斷層或層間含泥阻水夾層間，並以高壓地水的狀態存在，隧道施工開挖若不慎擾動破壞阻水層即可能造成極大的災變，過去東口段的災變與此地質狀況息息相關。

工程團隊 百折肱成良醫



• 鑽炸法施工遭遇惡劣地質高壓水層。

雖然地質與地水是阻擾施工的主因，在每次的災變經驗中都得到了慘痛的教訓，工程人員由每次教訓中不斷的揣測探索謀求解決之道，可是災變仍不斷的發生，雪山隧道相關的各機構，不論業主、監造單位或是承包廠商，都已經派出其最優秀並且經驗豐富的隧道工程人員，組成國內一時之選而且是難以取代的堅強團隊，面對此一特殊地質的處理，由過去對此特殊地質的無知到重視前方地質探查的必要性，進而徹底的改善設備進行前方地質探查，乃至於經由不斷的嚐

試針對惡劣地質地水的「遠排近灌」地質處理的策略擬定，及更進一步的歷練以趨向成熟的執行能力，在如此惡劣且不斷遭受重大挫折的工作環境中，工程人員仍在這些技術方面點點滴滴經驗不斷的累積，目前災變的頻率已大幅降低且災變的處理時間也大幅縮短。

這次專家諮詢顧問會議結論中更提供多項寶貴的觀念和建議，尤其對於地質改良和預防重於災變處理之觀念以及加強鑽探能力與改善鑽灌模式，俾降低發生重大災變的機率，對於未來工作的推動，就技術

方面而言，為突破工程困境增加了不少的信心和力量。

而根據地調資料顯示，未來至少尚有16處剪裂帶與石槽斷層等地質惡劣地段需要通過，而其中以石槽斷層經鑽探得知其破碎帶寬度大致在45公尺左右，而受斷層擾動之岩盤可達約330公尺，斷層下盤有高壓之含水層，估計水壓可達約35公斤／平方公分（過去開挖曾遭遇之最高水壓約為27公斤／平方公分），地質條件仍然不佳，因此可以預測未來施工仍會面臨極大的挑戰。

引用先進技術 宜先修約

然而，若僅就技術方面克服困難並不能完全解決雪山隧道的困境，第七次專家諮詢顧問會議認為，雖然現在施工團隊乃國內一時之選，但尚未發揮其最大潛力，其主要原因乃在於十多年前的剛性合約已經難以從近十年來科技上的進步獲得對本隧道工程的助益（例如：施工管理科技的進步、地盤改良技術的進步、地質調查科技的進步、新開發出來的工程機具及工程材料等等），諮詢顧問建議修改工程合約，使施工團隊具有隨機應變的彈性，且此一團隊應進一步加強橫向協調，建立迅速反應機制

以及建立公平合理分擔風險機制，並建議由各級相關單位成立工程督導會報，以解決爭議及困難，朝早日打通導坑，優先搶通一條主坑之目標邁進。

近來，行政院對於北宜雪山隧道工程極度關切，院長除指示工程會應恢復原有專案小組有效之運作外，並親臨現場瞭解工程的困境和慰勉施工人員的辛勞，要求有關機關共同努力解決問題，目前國工局已依據諮詢顧問的建議以及施工團隊綜合評估可行之意見方案，不論技術面與合約面的各項內容均已提報交通部核轉行政院，目前工程會亦已召開多次專案小組會議，期盼近期內能對雪山隧道工程提出建設性

的處理方案，早日完成此一重大國家交通建設。

依據過去地質經驗的累積以及歷史資料的評估分析，對於未來工率之訂定與完工時間的預估應更為客觀且更具信心，希望社會大眾能給予施工團隊不斷的支持和鼓勵，相信民國94年底的通車目標是指日可待的，到時用路人以短暫的時間、舒適的行車往返於台北與宜蘭之間，相信是一件相當令人賞心悅目、心曠神怡的事。此一工程也將為國人培育了一批國際間處理特殊惡劣地質的隧道施工專才，這對工程界來說是十分難能可貴的。這個隧道和這批人才未來都將成為國人的驕傲。

雪山隧道主坑東行線開挖期間鑽炸段抽坍一覽表 (82/8 ~ 83/8)

抽坍次序	里 程	抽坍情形	岩 性 描 述
1	39k+946	頂拱右側局部抽坍 8m ³	硬頁岩高度風化破碎。(83.02.06)
2	39k+930	頂拱右側及側壁抽坍 10m ³	硬頁岩高度破碎，局部含剪裂泥。(83.02.24)
3	39k+907	受剪裂面造成之岩楔影響而造成頂拱局部抽坍	硬頁岩高度破碎，節理發達。(83.03.09)
4	39k+751.5	頂拱左側局部抽坍 15 m ³	硬頁岩，2~3 道剪裂交會，岩體破碎，含泥量高。(83.05.26)
5	39k+743	頂拱局部抽坍約 30 m ³	硬頁岩，2~3 道剪裂交會，岩體破碎，含泥量高。(83.06.01)
6	39k+671.5	頂拱及右側壁局部抽坍 15m ³	硬頁岩高度破碎、局部含剪磨泥、節理面含方解石充填。(83.07.09)
7	39k+645~615	頂拱數次小抽坍	破碎硬頁岩、含剪裂帶局部節理發達。(83.07.23~83.08.12) 湧水量約 15~45 l/min。

雪山隧道主坑東行線開挖期間 TBM 段受困一覽表 (85/9 ~ 86/7)

受困次序	里 程	受困情形	岩 性 描 述
1	39k+458~418	TBM 前方局部抽坍	灰黑色斷層泥夾剪碎硬頁岩角礫粒，少量不規則灰白剪磨泥，岩體破碎，含泥量高。(頂導坑施工，金盃斷層帶) (85.10.03~85.10.17)
2	38k+858.76	TBM 前方及上方抽坍	石英砂岩，岩體破碎。(86.07.10)

雪山隧道主坑東行線開挖期間頂導坑段抽坍一覽表 (86/7 ~ 90/12)

抽坍次序	里 程	抽坍情形	岩 性 描 述
1	37k+002.5	頂拱 11 點至 13 點鐘方向湧水抽坍約 80m ³ ，出水量約 30 l/sec。	粗粒石英砂岩，節理較密集，岩體節理性破碎，剪裂帶背後含高壓水層。(90.11.21~90.12.28)

雪山隧道主坑西行線開挖期間鑽炸段抽坍一覽表 (82/8 ~ 84/4)

抽坍次序	里 程	抽坍情形	岩 性 描 述
1	40k+013	頂拱局部抽坍	硬頁岩夾厚層剪磨泥，頂拱有少量地下水。(83.02.27)
2	39k+940.9	頂拱有滲水現象(小抽心)	硬頁岩節理破碎、局部夾泥、部份剪裂帶受扭曲。(83.04.14)
3	39k+934.9	頂拱有滲水現象(小抽心)	硬頁岩節理破碎、局部夾泥、部份剪裂帶受扭曲。(83.04.16)
4	39k+800	頂拱有滲水現象(小抽心)	硬頁岩岩體緻密、局部因剪裂破碎、部份節理夾泥或方解石充填。(83.06.16)
5	39k+788.3	頂拱及右側往前方抽坍	硬頁岩局部夾剪磨泥，岩體破碎。湧水量約 3~10 l/min。(83.06.21)
6	39k+697~685	頂拱局部抽坍	硬頁岩節理發達、部份含剪裂破碎帶。(83.08.10~83.08.20)
7	39k+562.5	頂拱局部抽坍(小抽心)	硬頁岩局部夾剪磨泥，岩體破碎。(83.10.27)
8	39k+550~545	開挖面右側湧水抽坍	硬頁岩夾剪磨泥，岩體破碎。湧水量約 3~50 l/min。(83.11.04~83.11.11)
9	39k+448.5	兩道剪裂帶在頂拱處交匯，而造抽坍(小抽坍)	硬頁岩，岩體破碎。(84.01.23)
10	39k+415~397	頂拱局部抽坍	金盃斷層擾動帶，三次小抽坍；硬頁岩，岩體破碎。(84.02.22~84.03.07)
11	39k+397~370	頂拱局部抽坍，39k+391 處抽坍 20 m ³	金盃斷層之斷層泥帶。(84.03.08~84.03.31)

雪山隧道導坑開挖期間鑽炸段抽坍一覽表 (85/9 ~ 86/7)

抽坍次序	里 程	岩 性 描 述	處 理 經 過
1	40K+668	硬頁岩高度風化破碎 節理局部含泥	坍落土石約 4M ³ 。以鋼肋、噴凝土支撐鋼管灌漿等搶修及補強。(80.09.05)
2	40K+648.7	岩體剪裂破碎風化	坍落土石約 20M ³ 。處理經過同上。(80.09.24)
3	40K+616.6	硬頁岩節理發達破碎	坍落土石約 3M ³ 。處理經過同上。(80.10.18)
4	40K+565.9	硬頁岩岩體局部破碎	坍落土石約 15M ³ 處理經過同上。(80.11.22)
5	40K+545	高度風化之硬頁岩出現剪裂 及斷層，局部滲水	坍落土石約 2M ³ 。以鋼肋、噴凝土 支撐鋼管灌漿等搶修及補強。(80.12.06)
6	40K+525.7	右側頂拱出現剪磨破碎	坍落土石約 36M ³ 。以鋼肋、噴凝土、H 型鋼、灌漿、 回填混凝土等搶修補強。(80.12.17)
7	40K+524.8	剪磨細碎之硬頁岩，節理發 達，局部湧水	坍落土石約 2M ³ 。處理經過同 1。(80.12.20)
8	40K+471	硬頁岩受節理切割極為破 碎，局部湧水	坍落土石約 3M ³ 。處理經過同 1。(81.01.26)
9	40K+455.4	岩體破碎節理發達，湧水量 100 l/s	坍落土石約 2M ³ 。處理經過同 1。(81.02.11)
10	40K+450	岩體破碎之硬頁岩，湧水量 100 l/s	坍落土石約 3M ³ 。處理經過同 1。(81.02.15)
11	40K+445.9	硬頁岩節理發達破碎多處湧 水	坍落土石約 5M ³ 。處理經過同 1。(81.02.22)
12	40K+437.5	局部破碎之硬頁岩，頂拱有 剪裂帶	坍落土石約 12M ³ 。處理經過同 1。(81.02.27)
13	40K+365.6	灰黑色硬頁岩，破碎帶抽 心，湧水量 65 l/s	坍落土石約 100M ³ 以鋼肋、噴凝土、H 型鋼、灌漿回 填混凝土等搶修補強。(81.04.02)

雪山隧道導坑鑽炸延長段(39K + 079 ~ 37K + 836.69)一覽表 (87/2 ~ 89/9)

抽坍次序	里 程	岩 性 描 述	處 理 經 過
1	38K+998.8	石英砂岩與硬頁岩受強力剪 切擠壓之岩屑及岩塊混雜剪 磨泥，背後富含地下水。	坍落土石約 60M ³ ，湧水量約 60 l/s，水壓約 18kg/cm ² 。 以噴凝土及砂包堆疊施作擋牆，進行地質鑽灌處理及鑽 設排水孔以洩降水量、水壓，並輔以繞行隧道側進行地 質鑽灌處理。(87.03.12~87.08.08)
2	38K+935.4	粗粒石英砂岩，岩體破碎， 為一高壓含水層，下方為硬 頁岩。	坍落土石約 100M ³ ，湧水量約 150 l/s，水壓約 18kg/cm ² 。 以噴凝土及砂包堆疊施作擋牆，進行地質鑽灌處理及鑽 設排水孔以洩降水量、水壓，並輔以繞行隧道側進行地 質鑽灌處理。(87.10.08~87.12.13)

雪山隧道導坑開挖期間 TBM 段受困一覽表(89/12~90/12)

受困次序	里 程	岩 性 描 述	受 困 原 因 及 處 理 時 間
1	37K+431	破碎石英砂岩，夾薄層硬頁岩，微水。	TBM 遭遇破碎岩盤及剪裂帶，機頭上方抽坍，大量碴料擠滿切削頭前方及湧入伸縮盾，致 TBM 切削頭無法運轉。處理時間 128 天(90.04.10~90.08.15)。
2	37K+366	破碎石英砂岩，夾薄層硬頁岩，微水。	TBM 遭遇破碎岩盤及剪裂帶，機頭上方抽坍，大量碴料擠滿切削頭前方及湧入 TBM 料倉及伸縮盾，致輸送帶負載跳電及 TBM 切削頭無法運轉。處理時間 76 天(90.08.25~90.11.17)。

雪山隧道導坑西行線開挖期間 TBM 段受困一覽表(85/5~86/12)

受困次序	里 程	受 困 情 形	岩 性 描 述
1	39k+239	TBM 機頭右側上方落盤	細至中粒砂岩與粉砂岩互層，岩體破碎、層面傾角幾成水平。(85.12.24~86.01.08)
2	39k+234.67	TBM 前方抽坍	細至中粒砂岩與粉砂岩互層，岩體破碎、局部含剪裂帶。(86.03.07~86.03.24)
3	39k+217	機頭左側上方因 TBM 開挖岩盤鬆弛，造成抽坍	細至中粒砂岩與粉砂岩互層，岩體破碎、局部含剪裂帶。(86.04.04~86.05.05)
4	39k+208.63	TBM 機頭前方及右側上方抽坍	細至中粒砂岩與粉砂岩互層，岩體破碎、局部含剪裂帶。(86.05.08~86.05.20)
5	39k+148.05	TBM 盾身受擠壓	細粒砂岩與粉砂岩互層。(86.06.02~86.06.10)
6	39k+129.96	TBM 盾身受擠壓	細粒砂岩與粉砂岩互層。(86.06.16~86.06.20)
7	39k+077	TBM 盾身受擠壓	細粒砂岩與粉砂岩互層。(86.07.04~86.07.24)
8	38k+929	由兩側環片湧水	灰白至灰黑中至粗粒石英砂岩、節理發達，岩體尚可。湧水量約 130 l/sec。(86.09.05~86.12.11)
9	38k+919~905	機頭海側上方抽坍，並由海側撐座盾湧水	灰白及灰黑色剪磨泥夾粉砂岩屑、開挖面局部滲水(上新斷層)。湧水量約 143 l/sec。(86.12.13~86.12.14)
10	38k+902.5	湧水夾帶大量泥碴由頂拱衝出，造成 TBM 被土石及泥水淹埋，致 TBM 損壞	灰白至灰黑中至粗粒石英砂岩、節理發達，岩體破碎。湧水量約 750 l/sec。(86.12.15~88.12.30)

雪山隧道主坑西行線開挖期間鑽炸段抽坍一覽表(87/5~90/12)

抽坍次序	里 程	抽 坍 情 形	岩 性 描 述
1	37k+099 (東口)	開挖面抽坍約 4500 m ³ ，湧水每秒 200 公升	破碎石英砂岩，夾薄層硬頁岩。(90.05.11~91.03.12)
2	29k+045~050 (西口)	頂拱局部抽坍約 35 m ³	細砂岩夾頁岩薄互層。(鶯仔瀨向斜)(89.04.11~89.05.07)

雪山隧道導坑開挖期間 TBM 段受困一覽表 (82/1 ~ 85/2)

受困次序	里 程	岩 性 描 述	受 困 原 因 及 處 理 時 間
1	40K+138.50	破碎硬頁岩。 湧水量約 11-32 l/s。	開挖面突然湧入大量土石細料，造成皮帶輸送機無法負荷，切削頭之內倉及伸縮盾內之馬達等機件被土石及泥水淹埋，使 TBM 全面停機無法運轉。處理時間 92 天。(82.01.23~82.04.24)
2	40K+083.00	破碎硬頁岩。 湧水量約 20-40 l/s。	受困原因同上。處理時間 52 天。(82.05.25~82.07.15)
3	40K+075.00	破碎硬頁岩。 少量湧水。	開挖面及切削頭上方岩盤突然崩塌，大量岩塊及細料擠滿切削頭之前面及四周，且岩塊卡入進渣斗及削刀座凹槽，使切削頭無法運轉。處理時間 37 天。(82.08.29~82.10.04)
4	40K+040.70	破碎硬頁岩，無湧水。	開挖面及切削頭上方岩盤突然崩塌，大量岩塊及細料擠滿切削頭之前面及四周，切削頭受擠壓而無法運轉。處理時間 61 天。(82.10.22~82.12.21)
5	39k+972.40	破碎硬頁岩，無湧水。	受困原因同上。處理時間 44 天。(83.02.23~83.04.07)
6	39K+841.90	金盃斷層(軟弱破碎硬頁岩，無湧水)	受困原因同上。處理時間 37 天。(83.05.25~83.07.01)
7	39K+816.00	金盃斷層(破碎細砂岩，湧水量最大約 25-30 l/s)。	受困原因同第一次。處理時間 72 天。(83.07.10~83.09.19)
8	39K+630.44	破碎四稜砂岩。 湧水量最大約 185 l/s。	TBM 遭遇破碎岩盤及剪裂帶，剪裂泥背後之高壓地下水大量湧入，由於水量過大，淹沒驅動馬達，並造成渣料無法清理及輸送而告停機受困。處理時間 46 天。(83.11.07~83.12.23)
9	39K+168.70	破碎石英砂岩。 湧水量最大約 150 l/s。	同上，並於大水湧入後 12 小時，盾尾 818 環頂拱環片墜落，TBM 機身全遭掩埋，湧水量持續八個月仍在 45 l/s 以上。處理時間 290 天。(84.02.18~84.12.04)
10	39K+079.09	破碎石英砂岩，湧水量最大約 150 L/S。	TBM 遭遇破碎岩盤及剪裂帶，剪裂泥背後之大量高壓地下水及渣料，並伴隨湧入伸縮盾及尾盾區，淹沒 TBM 主驅動馬達，致 TBM 受困無法前進。處理時間 221 天(85.02.05~85.09.13)。

雪山隧道導坑西口段抽坍一覽表 (85/3 ~ 90/12)

抽坍次序	里 程	岩 性 描 述	處 理 經 過
1	26K+509.3	細砂岩和粉砂(頁)岩薄互層，層理發達，部份層間因受褶曲作用擾動而微錯動並夾泥縫，岩體富含大量地下水並夾帶剪磨泥及破碎岩塊沿層面滑動造成嚴重抽坍。	坍落土石約 150M ³ ，湧水量最約 240 l/sec。以噴凝土及砂包堆疊施作擋牆，進行地質鑽灌處理及鑽設排水孔以洩降水量、水壓。(88.06.03~88.12.23)